关于电碳表碳排放因子的由来及其准确性评估

张春晖[1]　张震[2]

（1.国网山东省电力公司，山东 济南 250100;2.华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100)

摘　要：本文介绍了电碳表在碳排放因子方面的应用和准确性问题。首先，介绍了电碳表的基本概念和在碳排放因子方面的应用前景。通过对比不同文献和资料，探讨了电碳表碳排放因子的由来和准确性问题。提出了对电碳表碳排放因子的质疑和解决方案。

关键词：电碳表　碳排放

中图分类号：TM933.4

About the origin and accuracy evaluation of the carbon emission factor of the electric carbon meter

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1.State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract:This article introduces the application and accuracy issues of the electric carbon meter in the aspect of carbon emission factors. Firstly, it introduces the basic concept of the electric carbon meter and its application prospects in the aspect of carbon emission factors. Then, by comparing different literature and data, it explores the origin and accuracy of the carbon emission factors of the electric carbon meter. Finally, it raises doubts and solutions about the carbon emission factors of the electric carbon meter.

Key words:the electric carbon meter　Carbon emissions

0　引言

2023年8月网上发布：《江苏试点应用“电碳表”》（以下简称“文A“）；之后，12月1日网上又报道:《上海电科院研发应用碳排放计量表 计算实时碳排放因子 精确获得碳排放数据 》（以下简称“文B”）。以上两则信息，说明在国网智能物联表基础上，加装“碳排放因子功能模块”，构成新型电碳表，具有推广应用前景，引起业内高度关注。同时，经多方面论证：对电碳表的碳排放因子的由来及其准确性，提出一些质疑并研究出解决方案。

1、电碳表：碳排放因子的由来及其准确性？

（1）文 A：

1）“电碳表可在发电厂、输电网及用电侧分别进行安装应用”。

“电碳表通过实时采集电气参量，将所测数据发送至服务器，服务器算出碳排放因子，进而通过用电量和碳排放因子计算出碳排放量”。

试点应用：“昆山天洋新材料公司的电碳表，除有电流、电压、累计用电量数据，还实时滚动该企业累计碳排放量数据：用电量 51300 kWh，碳排放量 29t”。经计算，碳排放因子为 0.565tco2/MWh。

2）本文点评：文 A，未明示发电厂、输电网及用电侧碳排放因子之间的溯源关系；也未说明昆山天洋公司电碳表的碳排放因子 0.565 tco2/MWh 的由来、准确度。

（2）文 B:

1）2023 年，上海电科院与威胜集团合作研发出可实时测量碳排放的碳排放计量表。

“该计量表不仅可显示实时碳排放量、历史碳排放量、园区实时碳排放因子等数据，还可以在后台按不同设备、不同楼层进一步细分碳排放量及相关用电数据”。

“该计量表以上海电力行标 T/SEPA2-2022《区域配电网碳排放核算规范》为设计基础” 。

— “二氧化碳排放因子计算：

EFi=CCI 乘以 OFi 乘以 44/12

式中：

• EFi-第 i 种化石燃料二氧化碳排放因子，单位 tco2/GJ。

• CCi-第 i 种化石燃料的单位发热量含碳值，单位 tco2/GJ。

• OFi-第 i 种化石燃料的碳氧化率（%）”。

— “碳排放因子获取：碳排放因子应根据生产地址国家主管部门公布的相应区域电网碳排放因子计算，或取用省级电网碳排放因子”。

2）本文点评：

— 文 B，《区域配电网碳排放核算规范》中二氧化碳排放因子，单位为 tco2/GJ；而文 A，电碳表碳排放因子，单位为 tco2/MWh。两者不同。

其中，文 B 的碳排放因子 tco2/GJ，是国家主管部门根据区域电网所有发电厂的总发电量、燃料总消耗量及热值，研究发布中国区域电网的平均二氧化碳排放因子；而文 C 的碳排放因子 tco2/MWh，是采用发电机组供电量-碳排放因子 tco2/MWh 。本文提出的碳排放因子的由来及准确性评估，其单位采用 tco2/MWh。

— 文 B，二氧化碳排放因子计算式中的系数 44/12 的由来。二氧化碳分子由两个氧原子与一个碳原子通过共价键构成。碳分子量 12，氧分子量 16，二氧化碳分子量 44，即 1 份碳燃烧后生成自身重量的 3.66666 倍重的二氧化碳。

— 文 B，提出在用电侧，采用省级电网碳排放因子较为合理，即用电侧碳排放因子来源于省级电网，这观点可取。但文 B，未说明发电厂、输电网及用电侧碳排放因子的准确性评估。

（3）2023 年 10 月 31 日，华能碳中和研究所发布《中国区域电网二氧化碳排放因子研究（2023）》报告（以下简称“文 C”）。

该报告由华能碳中和研究所与生态环境部环境规划院等单位共同完成。报告来自中国工程院品牌项目“我国碳达峰碳中和若干重大问题研究”。

1）区域电网二氧化碳排放因子是精准核算电力消费引起二氧化碳间接排放的基础参数，是定量分析并推动消费端碳减排的重要参数。

2）该报告采用平衡分析法，根据省级电网发电数据、跨省电力交换数据，以及中长期电力发展规划等，构建省级电网生产模拟优化模型，通过情景分析法，研究 2020-2035 年各区域和省级电网二氧化碳排放因子。

3）我国省级电网排放因子整体呈现东北高、西南低。

— 电网排放因子高的省份，主要集中在东北和华北北部，电力结构中煤电占比高，2020 年电网排放因子分别为 841gco2/kWh 和 1000 gco2/kWh。

— 电网排放因子较低地区，主要分布在西南地区，电源结构以水电为主，2020 年，四川和云南电网排放因子分别为 117gco2/kWh 和 146gco2/kWh。

— 2020-2035 年，在新能源政策情景下，各省电网排放因子降幅平均达到 43%。

4）本文点评：文 C 的中国区域电网二氧化碳排放因子研究报告，具有权威性，明示：省级电网碳排放因子将作为输电侧、用电侧碳排放因子溯源的源头，即涵盖发电厂-输电侧-用电侧碳排放因子。其中，发电机组运行是二氧化碳直接排放，输电侧、用电侧是二氧化碳间接排放。同时，输电侧、用电侧碳排放因子准确性评估，主要是对发电机组供电量-碳排放因子准确性评估。

（4）省级电网碳排放因子计算及准确性评估

1）省级电网由多电源接入，包括多台发电机组供电量、跨省电网交换电量、远程特高压线路输入电量。省级电网碳排放因子采用加权平均算法较为合理。

2）省级电网碳排放因子等于：

— 等式分子包括：

• 多台发电机组碳排放量总和（tco2）

其中，每台发电机组碳排放量（tco2）=该台机组供电量（MWh）乘以 碳排放因子（tco2/MWh）

• 跨省电网交换电量（+/-）碳排放量（tco2）

• 远程特高压线路输入电量碳排放量（tco2）

— 等式分母为省级电网供电量总和（MWh），包括：

• 多台发电机组供电量（MWh）

• 跨省电网交换电量+/-（MWh）

• 远程特高压线路输入电量（MWh）

3）省级电网碳排放因子准确性评估方法

根据机组抽样结果，对抽样机组二氧化碳排放因子，可采用碳排放全流程测算法。

4）输配电线路线损率对用电侧碳排放因子影响计算

文 A，前面叙述：昆山天洋公司电碳表显示的碳排放因子为 0.565 tco2/MWh，输配电线路线损率按 6%计算，天洋公司的碳排放因子溯源到省级电网碳排放因子 =0.565tco2/MWh 乘以 94%= 0.531tco2/MWh

2、建议：燃煤机组碳排放因子准确性评估，采用二氧化碳排放全流程测算法

说明：本部分的碳排放全流程测算法，采用月度为测算周期；例，采用 300MW 燃煤机组参数。

1） 原煤量的称重

发电机组的原煤，有烟煤、无烟煤、褐煤。原煤称重误差 e1。

例：经称重，300 MW 燃煤机组月消耗烟煤 72.502t。

2）煤化验项目

— 煤发热量测定

• 煤发热量单位：MJ/kg，表示每 kg 物质燃烧后产生的热量-兆焦耳；另有工程制单位：kcal/kg（cal:卡）。两类单位换算系数：4.186，即 kcal/kg=4.186 kJ/kg。

• 烟煤发热量在 25-35 MJ/kg 之间，即 5972-8361 kcal/kg。

• 褐煤发热量 8.38 -16.76MJ/kg，即 2001.9-4003.8 kcal/kg。

• 煤发热量测定误差 e2

• 例：经测定，300 MW 机组烟煤发热量为 25MJ/kg。

— 固定碳与煤的炭含量测定：

• 固定碳是指煤炭经过去水、去灰后的残留物。其中，除含碳元素外，还有少量硫和碳氢物质。根据使用的计算挥发分的基准，可以计算出干基、干燥无灰基等不同基准的固定碳含量。

• 测定煤的炭含量是以干燥无灰基为基准。

煤的炭含量约为 60-80%。

煤的炭含量测定误差 e3。

• 例：经测定，300 MW 机组烟煤的炭含量为 72.5%。

3）发电机组供电量计算

发电机组供电量=发电量-厂用电量

供电量计量误差，包括发电量计量误差 e4、厂用电量计量误差 e5、厂用电率取值偏差 e6。

例：300MW 机组月发电量=216MWh，厂用电率取值 6%，月供电量 203.04MWh。

説明：300MW 机组主要参数-额定电压 18kV，额定电流 10997A，额定容量 342.86MVA，额定有功功率 300MW，额定功率因数 0.875，3 相，频率 50Hz。

4）发电煤耗率测定与供电标准煤耗率计算

—发电煤耗率测定

发电煤耗率是指发电机组每生产或供应 kWh 电能所消耗的燃煤量，以 g/kWh 或 kg/MWh 表示 。

例：经测定，300 MW 机组月发电量 216MWh，消耗 25MJ/kg 烟煤 72.502t，发电煤耗率 335.66kg/MWh。

— 供电标准煤耗率计算

• 在衡量煤炭消耗时，要把实际用的不同发热量的煤炭换算成标准煤量。标准煤发热量为 29.27MJ/kg（7000 kcal/kg）。

• 由标准煤计算所得的煤耗率称为标准煤耗率。

其一，发电标准煤耗率：由发电煤耗率 335.66kg/MWh，经换算后为发电标准煤耗率 286.69kg/MWh。

其二，供电标准煤耗率是发电厂主要经济技术指标。

供电标准煤耗率=发电标准煤耗率除以厂用电率

例：300MW 发电机组供电标准煤耗率为 305kg/MWh。

5）发电机组供电标准煤用量计算

月供电标准煤用量=供电标准煤耗率 乘以 月供电量

例：300MW 机组月供电标准煤用量=0.305t/MWh（供电标准煤耗率）乘以 203.04 MWh（月供电量）=61.92t

6）供电标煤炭排放量（CO2）计算与测定

— 供电标煤炭排放量（CO2）计算

• 按元素分子量计算，1t 标煤排放 CO2 为 2.66-2.72t，即单位重量的标煤排放出 2.66 -2.72 倍重的二氧化碳。

以上 2.66 倍相对于煤的炭含量 72.5%；2.72 倍相对于煤的炭含量 74.18%。

•例：经计算，300 MW 机组碳排放量- 烟煤的含炭量 72.5%，1t 标煤燃烧后排放 CO_2 为 2.66t。

— 供电标煤碳排放量（CO_2）测算

在发电厂烟囱或排放口安装固定式测试设备。

•二氧化碳浓度测定：二氧化碳测试仪可直接测量二氧化碳浓度（PPM）。

二氧化碳浓度测定误差 e7

•烟气流速测试：采用超声波烟气流速测试仪监测烟气流速（m/s）。

烟气流速测定误差 e8

•测量烟囱面积（m^2）

烟囱面积测定误差 e9

•二氧化碳月排放量（m^3）计算：

二氧化碳月排放量（m^3）=烟气流量（m^3/h）乘以 二氧化碳浓度（PPM）乘以 排放时间 720（h）

例：（略）

7）发电机组：供电标煤二氧化碳（CO_2）排放量计算

月供电标煤碳排放量=月供电标准煤耗量（t）乘以 系数（1t 标煤燃烧排放 CO_2 的重量 t）

例：300MW 机组月

供电二氧化碳排放量=61.92t（供电标煤量）乘以 2.66 系数（1t 标煤排放 CO_2 量 t）=164.7t

8)发电机组:供电量- 碳排放因子(t/MWh)=月供电标煤二氧化碳排放量(t)除以 月供电量(MWh)。

例:300MW 机组供电-碳排放因子=164.7 t(月二氧化碳排放量)除以 203.04MWh(月供电量)=0.811 t/MWh

结语

电碳表推广应用，是个系统工程。主要是电碳表，用电侧碳排放因子；输电线损率，输电侧碳排放因子；发电机组供电量-碳排放因子和省级电网碳排放因子，包括多台机组碳排放因子、跨省电

网交换电量（+/-）碳排放因子、远程特高压线路输入电量碳排放因子。其中，用电量、输电量只是碳的间接排放，只有机组发/供电量是碳直接排放。因此，推广电碳表，需说明省级电网碳排放因子整个系统的溯源及准确性情况。省级电网碳排放因子的合理、完整计算和燃煤机组碳排放因子的全流程测算验证，是未来电碳表推广应用的重点技术问题。

参考文献

[1] 董真 曹颖爽 **上海电科院研发应用碳排放计量表** 《国家电网报》- 2023-11-27

作者简介： 张春晖 男，（1938- ）， 从事电能计量技术研究。

通讯作者： 张震 男，（1977- ）， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com